

Beschreibung

Dampfturbine und Verfahren zum Betreiben einer Dampfturbine

5 Die Erfindung betrifft eine Dampfturbine mit einem mit einer Anzahl von Laufschaufeln versehenen Rotor, der gemeinsam mit einer Anzahl von Leitschaufeln innerhalb eines aus einer Anzahl von Gehäusesegmenten gebildeten Gehäusemantels angeordnet ist. Sie bezieht sich weiterhin auf ein Verfahren zum Betreiben einer derartigen Dampfturbine.

10

Unter einer Dampfturbine im Sinne der vorliegenden Anmeldung wird jede Turbine oder Teilturbine verstanden, die von einem Arbeitsmedium in Form von Dampf durchströmt wird. Im Unterschied dazu werden Gasturbinen mit Gas und/oder Luft als Arbeitsmedium durchströmt, das jedoch völlig
15 anderen Temperatur- und Druckbedingungen unterliegt als der Dampf bei einer Dampfturbine. Im Gegensatz zu Gasturbinen weist bei Dampfturbinen z.B. das einer Teilturbine zuströmende Arbeitsmedium mit der höchsten Temperatur gleichzeitig den höchsten Druck auf. Ein offenes Kühlsystem, wie bei Gasturbinen, ist also nicht ohne Teilturbinen-externe Zuführung
20 realisierbar.

Eine Dampfturbine umfasst üblicherweise einen mit Schaufeln besetzten drehbar gelagerten Rotor, der innerhalb eines Gehäusemantels angeordnet ist. Bei Durchströmung des vom Gehäusemantel gebildeten Innenraums der Strömungsraums mit erhitztem und unter Druck stehendem Dampf wird der
25 Rotor über die Schaufeln durch den Dampf in Drehung versetzt. Die Schaufeln des Rotors werden auch als Laufschaufeln bezeichnet. Am Gehäusemantel sind darüber hinaus üblicherweise stationäre Leitschaufeln aufgehängt, welche in die Zwischenräume der Rotorschaufeln greifen. Eine
30 Leitschaufel ist üblicherweise an einer ersten Stelle entlang einer Innenseite des Dampfturbinengehäuses gehalten. Dabei ist sie üblicherweise Teil eines Leitschaufelkranzes, welcher eine Anzahl von Leitschaufeln umfasst, die entlang eines Innumfangs an der Innenseite des Dampfturbinengehäuses angeordnet sind. Dabei weist jede Leitschaufel
35 mit ihrem Schaufelblatt radial nach innen. Ein Leitschaufelkranz an der genannten ersten Stelle entlang der axialen Ausdehnung wird auch als Leitschaufelreihe bezeichnet. Üblicherweise sind eine Anzahl von Leit-

schaufelreihen hintereinander geschaltet. Entsprechend ist an einer zweiten Stelle entlang der axialen Ausdehnung hinter der ersten Stelle eine weitere zweite Schaufel entlang der Innenseite des Dampfturbinengehäuses gehalten.

5

Der Gehäusemantel einer derartigen Dampfturbine kann aus einer Anzahl von Gehäusesegmenten gebildet sein. Unter dem Gehäusemantel der Dampfturbine ist insbesondere das stationäre Gehäusebauteil einer Dampfturbine oder einer Teilturbine zu verstehen, das entlang der axialen Ausdehnung der Dampfturbine einen Innenraum aufweist, der zur Durchströmung mit dem Arbeitsmedium Dampf vorgesehen ist. Dies kann, je nach Dampfturbinenart, ein Innengehäuse und/oder ein Leitschaufelträger sein. Es kann aber auch ein Turbinengehäuse vorgesehen sein, welches kein Innengehäuse oder keinen Leitschaufelträger aufweist.

15

Aus Wirkungsgradgründen kann die Auslegung einer derartigen Dampfturbine für sogenannte "hohe Dampfparameter", also insbesondere hohe Dampfdrücke und/oder hohe Dampftemperaturen, wünschenswert sein. Allerdings ist insbesondere eine Temperaturerhöhung aus materialtechnischen Gründen nicht unbegrenzt möglich. Um dabei einen sicheren Betrieb der Dampfturbine auch bei besonders hohen Temperaturen zu ermöglichen, kann daher eine Kühlung einzelner Bauteile oder Komponenten wünschenswert sein.

25

Bei den bisher bekannten Kühlmittelmethoden, insbesondere für ein Dampfturbinengehäuse, ist zwischen einer aktiven Kühlung und einer passiven Kühlung zu unterscheiden. Bei einer aktiven Kühlung wird eine Kühlung durch ein dem Dampfturbinen-Gehäuse separat, d. h. zusätzlich zum Arbeitsmedium zugeführtes Kühlmedium bewirkt. Dagegen erfolgt eine passive Kühlung lediglich durch eine geeignete Führung oder Verwendung des Arbeitsmediums. Eine übliche Kühlung eines Dampfturbinengehäuses beschränkt sich auf eine passive Kühlung. So ist beispielsweise bekannt, ein Innengehäuse einer Dampfturbine mit kühlem, bereits expandiertem Dampf zu umströmen. Dies hat jedoch den Nachteil, dass eine Temperaturdifferenz über die Innengehäusewandung beschränkt bleiben muss, da sich sonst bei einer zu großen Temperaturdifferenz das Innengehäuse thermisch zu stark verformen würde. Bei einer Umströmung des In-

35

nengehäuses findet zwar eine Wärmeabfuhr statt, jedoch erfolgt die Wärmeabfuhr relativ weit entfernt von der Stelle der Wärmezufuhr. Eine Wärmeabfuhr in unmittelbarer Nähe der Wärmezufuhr ist bisher nicht in ausreichendem Maße verwirklicht worden. Eine weitere passive Kühlung kann
5 mittels einer geeigneten Gestaltung der Expansion des Arbeitsmediums in einer sogenannten Diagonalstufe erreicht werden. Hierüber lässt sich allerdings nur eine sehr begrenzte Kühlwirkung auf das Gehäuse erzielen.

In der US 6,102,654 ist eine aktive Kühlung einzelner Komponenten
10 innerhalb eines Dampfturbinengehäuses beschrieben, wobei die Kühlung auf den Einströmbereich des heißen Arbeitsmediums beschränkt ist. Wie in FIG 1 dieser Anmeldung wiedergegeben, wird gemäß der US 6,102,654 Kühlmedium durch das Gehäuse auf ein Schutzschild und auf einen ersten Leitschaufelring geleitet, um eine Temperaturbeanspruchung des Rotors und
15 des ersten Leitschaufelrings zu reduzieren. Ein Teil des Kühlmediums wird dem Arbeitsmedium beigemischt. Die Kühlung soll dabei durch ein Anströmen der zu kühlenden Komponenten erreicht werden.

Aus der WO 97/49901 ist bekannt, einen einzelnen Leitschaufelkranz zur
20 Abschirmung einzelner Rotorbereiche selektiv durch einen von einem zentralen Hohlraum gespeisten separaten radialen Kanal im Rotor mit einem Medium zu beaufschlagen. Dazu wird das Medium über den Kanal dem Arbeitsmedium beigemischt und der Leitschaufelkranz selektiv angeströmt. Bei der dazu vorgesehenen mittigen Hohlbohrung des Rohrs sind jedoch
25 erhöhte Fliehkraftspannungen in Kauf zu nehmen, was einen erheblichen Nachteil in Auslegung und Betrieb darstellt.

In der EP 1154123 ist eine Möglichkeit der Entnahme und Führung eines Kühlmediums aus anderen Bereichen eines Dampfsystems und die Zuführung
30 des Kühlmediums im Einströmbereich des Arbeitsmediums beschrieben.

Zur Erzielung höherer Wirkungsgrade bei der Stromerzeugung mit fossilen Brennstoffen besteht das Bedürfnis, bei einer Turbine höhere Dampfparameter, d. h. höhere Drücke und Temperaturen als bisher üblich
35 anzuwenden. Dabei sind beim Dampf als Arbeitsmedium Drücke zum Teil weit über 200 bar und Temperaturen zum Teil weit über 500 °C vorgesehen. Im Detail sind solche Dampfparameter in dem Artikel "Neue Dampfturbi-

nenkonzepte für höhere Eintrittsparameter und längere Endschaufeln" von H. G. Neft und G. Franconville in der Zeitschrift VGB Kraftwerkstechnik, Nr. 73 (1993), Heft 5, angegeben. Der Offenbarungsgehalt des Artikels wird hiermit in die Beschreibung dieser Anmeldung aufgenommen.

- 5 Insbesondere sind Beispiele höherer Dampfparameter in Bild 13 des Artikels genannt. In dem genannten Artikel wird zur Verbesserung der Kühlung eines Dampfturbinengehäuses eine Kühltampfzufuhr und Weiterleitung des Kühltampfs durch die erste Leitschaufelreihe und gegebenenfalls auch durch die zweite Leitschaufelreihe vorgeschlagen.
- 10 Damit wird zwar eine aktive Kühlung bereitgestellt. Diese ist jedoch auf den Hauptströmungsbereich des Arbeitsmediums beschränkt und noch verbesserungswürdig.

- Alle bisher bekannten Kühlverfahren für ein Dampfturbinengehäuse sehen also, soweit es sich überhaupt um aktive Kühlverfahren handelt, allenfalls ein gezieltes Anströmen eines separaten und zu kühlenden Turbinenteiles vor und sind auf den Einströmbereich des Arbeitsmediums, allenfalls unter Einbeziehung des ersten Leitschaufelkranzes, beschränkt.
- 15 Dies kann bei einer Belastung üblicher Dampfturbinen mit höheren Dampfparametern zu einer auf die ganze Turbine wirkenden, erhöhten thermischen Belastung führen, welche durch eine oben beschriebene übliche Kühlung des Gehäuses nur unzureichend abgebaut werden könnte.
- 20 Dampfturbinen, die zur Erzielung höherer Wirkungsgrade grundsätzlich mit höheren Dampfparametern arbeiten, benötigen eine verbesserte Kühlung, insbesondere des Gehäuses, um eine höhere thermische Belastung der Dampfturbine in genügendem Maße abzubauen. Dabei besteht das Problem, dass bei der Nutzung bisher üblicher Turbinenmaterialien die zunehmende Beanspruchung des Gehäuses durch erhöhte Dampfparameter zu einer nachteiligen thermischen Belastung des Gehäuses führen kann, so dass
- 25 diese technisch nicht mehr ausführbar sind.
- 30

- Es ist deshalb Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Dampfturbine der oben genannten Art anzugeben, die in besonderem Maße für einen Betrieb mit "hohen Dampfparametern" geeignet ist. Zudem soll ein hierfür
- 35 besonders geeignetes Verfahren zum Betreiben einer Dampfturbine angegeben werden.

Bezüglich der Dampfturbine wird diese Aufgabe erfindungsgemäß gelöst, indem zumindest eines der Gehäusesegmente mit einer Anzahl von integrierten Kühlkanälen versehen ist.

- 5 Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass unter anderem ein begrenzender Faktor bei einer möglichen Temperaturerhöhung des Strömungsmediums in der Gehäusewandung selbst zu sehen ist. Die Dampfturbine sollte daher mit einem zuverlässig kühlbaren Gehäusemantel versehen sein. Dies ist erreichbar, indem unmittelbar im Bereich der
- 10 benötigten Kühlung, also unmittelbar innerhalb des Gehäusemantels oder der diesen gegebenenfalls bildenden Gehäusesegmente, eine Anzahl von Kühlkanälen vorgesehen ist.

- Unter "Kühlkanal" ist hierbei insbesondere ein Strömungskanal für ein
- 15 Kühlmittel zu verstehen, der nicht nur einem Transport oder einer Überführung des Kühlmittels dient, sondern bei dem auslegungsbedingt bei der Beaufschlagung mit Kühlmittel eine Kühlwirkung auf die Umgebung, also insbesondere das jeweilige Gehäusesegment, eintritt.

- 20 Um dabei eine besonders zuverlässige und bedarfsgerechte Kühlwirkung zu erzielen, sind die Kühlkanäle vorteilhafterweise vergleichsweise oberflächennah an der Innenoberfläche des Gehäusemantels geführt. Dabei liegt die Erkenntnis zugrunde, dass gerade bei der Führung vergleichsweise heißen Strömungsmediums im Innenraum des Gehäusemantels
- 25 die thermische Belastung an dessen Innenoberfläche besonders hoch ist. Eine besonders bedarfsgerechte Kühlung ist somit erreichbar, indem der jeweilige Kühlkanal vorteilhafterweise innerhalb der Wand des jeweiligen Gehäusesegments relativ zu deren Mittelebene in Richtung zur Innenoberfläche, also zur den Innen- oder Strömungsraum begrenzenden
- 30 Oberfläche, hin versetzt positioniert ist.

- Vorteilhafterweise sind die Kühlkanäle für eine vergleichsweise großflächige Kühlung der Gehäusewand ausgelegt und erstrecken sich dazu in Längsrichtung des Rotor gesehen über eine gewisse Mindestlänge. Der
- 35 Kontur des Gehäuses im wesentlichen folgend, sind die Kühlkanäle daher

zweckmäßigerweise im wesentlichen in Längsrichtung des Rotors ausgerichtet.

Als Mindestlänge in Längsrichtung des Rotors gesehen ist dabei
5 vorteilhafterweise eine Länge vorgesehen, durch die mehrere, zumindest zwei, Schaufelreihen überbrückt werden.

Dies hat den wesentlichen Vorteil, dass die Kühlung eines Dampfturbinengehäuses nicht nur über mehrere Schaufelreihen, also
10 wenigstens zwischen einem vor der ersten Stelle angeordneten ersten Bereich und einem hinter der zweiten Stelle angeordneten zweiten Bereich durchgängig erfolgt, sondern hat auch den Vorteil, dass die Wärmeabfuhr in unmittelbarer Nähe der Wärmezufuhr, nämlich innerhalb des Gehäuses, erfolgt. Auf diese Weise wird die Kühlung bei üblichen Dampfturbinen ver-
15 bessert, so dass diese mit geringeren Materialkosten gefertigt werden könnten. Des Weiteren erlaubt das vorgeschlagene Kühlungskonzept den Entwurf neuer Dampfturbinenkonzepte für höhere Eintrittsparameter. Beispiele für höhere Dampfparameter finden sich in dem oben genannten Artikel "Neue Dampfturbinenkonzepte für höhere Eintrittsparameter und
20 längere Endschaufeln". Beispielhafte Dampfparameter des Dampfes als Arbeitsmedium liegen bei 250 bar und 540 C bzw. bei 300 bar und 600 C.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zum Dampfturbinengehäuse zu entnehmen und geben im Einzelnen vorteilhafte
25 Möglichkeiten an, das vorgeschlagene Gehäuse hinsichtlich der genannten und weiterer Vorteile im Einzelnen weiterzubilden.

Eine besonders bevorzugte Weiterbildung sieht zwischen der ersten Stelle und der zweiten Stelle eine Anzahl von weiteren Stellen vor, bei denen
30 jeweils eine Schaufel gehalten ist. Insbesondere sind die Kühlkanäle in vorteilhafter Weise Teil eines zusammenhängenden, in den Gehäusemantel integrierten Kühlsystems, das sich entlang der axialen Ausdehnung des Dampfturbinengehäuses erstreckt. Dies schafft die Möglichkeit, Kühldampf parallel zur Hauptströmung zu führen. Die Kühlung mehrerer Schaufelreihen
35 wird möglichst entlang des gesamten Gehäuses ermöglicht. Die Kühlkanäle können dabei vorteilhafterweise über zugeordnete Durchführungen durch im Gehäuse verankerte Leitschaufeln geführt sein. Es könnte dabei zusätzlich

- oder alternativ eine erste Anzahl von Durchführungen vorgesehen sein, die jeweils durchgängig über eine einzige oder mehrere Schaufelreihen entlang der axialen Ausdehnung hinaus gehen. Diese könnten dabei über weitere zweite Durchführungen zu einem Durchführungssystem verbunden sein, die
- 5 radial oder beliebig anders ausgerichtet sind. Die mindestens eine Durchführung bzw. die erste Anzahl von Durchführungen sind dabei vorteilhaft oberflächennah angeordnet. Die weiteren zweiten Durchführungen könnten auch beliebig in der Wandung verlaufen oder aus der Wandung heraus führen.
- 10
- Günstigerweise ist ein offenes Kühlsystem vorgesehen, das die Möglichkeit der Anpassung der Parameter des Kühlmediums an die Parameter des Arbeitsmediums vorsieht. Dies wird im Einzelnen anhand des vorgeschlagenen Verfahrens weiter unten erläutert.
- 15
- Im Folgenden werden weitere vorteilhafte Ausgestaltungen eines Durchführungssystems beschrieben, dessen Teil die Kühlkanäle gemäß dem vorgeschlagenen Konzept sind. Ein solches Durchführungssystem ist vorteilhaft oberflächennah zur Innenseite des Dampfturbinengehäuses
- 20 angeordnet. Oberflächennah heißt in diesem Zusammenhang insbesondere, dass das Kühlsystem in einem Bereich der radialen Ausdehnung des Dampfturbinengehäuses angeordnet ist, welcher durch die Innenseite des Gehäuses einerseits und die äußere radiale Ausdehnung einer Leitschaufelnut andererseits begrenzt ist. Die Kühlkanäle können je nach
- 25 Bedarf in vorteilhafter Weise als ein eigentlicher Kanal oder als eine beliebige Art von Hohlraum zwischen der Außenseite und der Innenseite des Gehäuses ausgelegt sein. Dies ermöglicht eine weitere Verbesserung der Wärmeabfuhr am Ort des Wärmeeintrags.
- 30
- Das vorgeschlagene Kühlungskonzept innerhalb des genannten Dampfturbinengehäuses ist damit effektiver wirksam als eine an der Außenseite einer Gehäusewandung am Innengehäuse angreifende Kühlung durch Umströmung mit expandiertem Dampf mit geringerer Dampfdichte. Des Weiteren ergeben sich Vorteile hinsichtlich des Verformungsverhaltens
- 35 eines Dampfturbinengehäuses. Die Kühlung nach dem vorgeschlagenen Konzept verstärkt auch den Nutzen von Wärme-Isolations-Schichten auf Gehäuse und/oder Schaufeln. Derartige Schichten besitzen einen vergleichsweise

geringen Wärmeleitkoeffizienten und können unter der Voraussetzung, dass eine ausreichende Wärmesenke vorhanden ist, eine hohe Temperaturdifferenz aufbauen. Damit können Gehäuse, Schaufelfüße und zum Teil auch Schaufelblätter auf einer wesentlich geringeren Temperatur gehalten werden als ohne eine Wärme-Isolationsschicht. Alternativ zu einer Isolationsschicht oder in Kombination mit einer solchen kann, bei Verwendung des vorgeschlagenen Kühlungskonzepts, die Anwendung von weniger gut wärmeleitenden Schaufelwerkstoffen sinnvoll sein. Ein zu bevorzugendes Beispiel dafür sind beispielsweise austenitische Werkstoffe.

Das Kühlsystem weist günstigerweise einen entlang einer umfänglichen Ausdehnung des Gehäuses wenigstens teilweise umlaufenden Zweigkanal auf. Zusammen mit den ohnehin vorgesehenen Kühlkanälen ermöglicht dies eine gesamtumfängliche Kühlung des Dampfturbinengehäuses vorzugsweise nahe seiner Innenseite.

Vorteilhaft werden die Parameter des Kühlmediums in Abhängigkeit der Parameter des Arbeitsmediums über ein offenes Kühlsystem stufenweise derart angepasst, dass ein Überströmen des Kühlmediums in das Arbeitsmedium mit nur vergleichsweise geringem Differenzdruck erfolgt. Dazu ist der oder jeder Kühlkanal zweckmäßigerweise über eine Anzahl von Überströmöffnungen mit dem vom Gehäusemantel umschlossenen Strömungsraum für das Strömungsmedium verbunden. Zweckmäßigerweise sind das Kanalsystem und die Überströmöffnungen im Hinblick auf dieses Auslegungskriterium geeignet dimensioniert, so dass der Strömungswiderstand die Anpassung des Druckniveaus im Kühlmedium ermöglicht. Die Dimensionierung ist dabei vorzugsweise derart gewählt, dass im Betriebszustand das Kühlmittel lokal, also insbesondere in der jeweils gleichen Turbinenstufe, einen geringfügig, also beispielsweise um etwa 0,1 % bis 25 %, höheren Druck aufweist als das Strömungsmedium. Günstigerweise weist dazu der erste Bereich eine erste Öffnung zur Hauptströmung auf. Vorteilhaft weist auch der zweite Bereich eine zweite Öffnung zur Hauptströmung auf. Dadurch wird eine Kühlung mehrerer Schaufelreihen ermöglicht, wobei das Kühlmedium jeweils einen der Hauptströmung ähnlichen, insbesondere leicht erhöhten, Druck aufweist, so dass vorteilhaft eine Minimierung der Differenzdruckbeanspruchung angestrebt ist.

Gemäß einer Weiterbildung kann die Innenseite des Gehäuses durch eine Innenseite der inneren Wandung gebildet sein. Das heißt, die Kühlkanäle könnten als Bohrung, Nut oder auf andere geeignete Weise in der Wandung integriert sein. Darüber hinaus erweist es sich als ganz besonders günstig, wenn die Innenseite des Gehäuses durch ein stationäres Abschirmblech gebildet ist. Dies ermöglicht, dass das Dampfturbinengehäuse im gekühlten Beschaukelungsbereich günstigerweise vollständig gegen die Hauptströmung abgeschirmt ist. Dies hat wesentliche Vorteile hinsichtlich einer Oxidation des Gehäusewerkstoffes. Ein stationäres Abschirmblech könnte günstigerweise durch eine Schaufel, insbesondere durch einen Schaufelfuß, gehalten sein.

Die Kühlkanäle können je nach Bedarf ausgeführt sein. So erweist es sich als günstig, wenn die Durchführung durch eine Schaufel, insbesondere durch einen Schaufelfuß, geführt ist. Dabei könnte eine Nut an einem Schaufelfuß ein Teil der Kanäle sein. Gegebenenfalls könnte auch eine Bohrung durch einen einzelnen Schaufelfuß oder, alternativ oder zusätzlich, durch zwei benachbarte Schaufelfüße Teil der Kanäle sein. Weiter erweist es sich günstig, einen Kanal in einem Schaufelblatt vorzusehen, der mit der Durchführung zusammenhängend verbunden ist. Auf diese Weise ist eine vorteilhafte Kühlung des Leitschaufelblattbereichs über eine Filmkühlung möglich.

Vorteilhafterweise ist als Kühlmittel Dampf vorgesehen, der hinsichtlich der für den Betrieb der Kühlkanäle, insbesondere den erforderlichen Betriebsdruck, an geeigneten Stellen dem Wasser-Dampf-Kreislauf des Kraftwerkes entnommen sein kann.

Hinsichtlich des Verfahrens wird die genannte Aufgabe gelöst, indem ein Strömungsraum für das Strömungsmedium begrenzender Gehäusemantel zumindest teilweise über eine Anzahl von integrierten Kühlkanälen mit Kühlmittel beaufschlagt wird.

Da das einer Dampfturbine zuströmende Arbeitsmedium mit der höchsten Temperatur gleichzeitig auch den höchsten Druck aufweist, ist es besonders günstig, dass das Kühlmedium dem Dampfturbinengehäuse von

extern zugeführt wird. Vorteilhaft übersteigt dabei der Druck des Kühlmediums den örtlichen Druck des Arbeitsmediums in der Hauptströmung.

Es erweist sich als besonders günstig, dass das Kühlmedium mit einem Druck geführt wird, der in Abhängigkeit eines Drucks der Hauptströmung angepasst ist und insbesondere die Kühlmediumströmung gedrosselt wird. Diese Weiterbildung ermöglicht die Ausbildung eines an höhere Dampfparameter angepassten, offenen Kühlsystems. Eine Drosselung des Kühlmediums zur Druckanpassung an die Hauptströmung erfolgt in vorteilhafter Ausgestaltung stufenweise durch geeignet gewählte Strömungswiderstände im Kanalsystem in Verbindung mit entsprechenden Öffnungen zur Hauptströmung in der mindestens einen Durchführung.

Weiterhin wird günstigerweise das Kühlmedium mit einer Temperatur und/oder in einer Menge zugeführt, die in Abhängigkeit einer Temperatur der Hauptströmung angepasst wird. Dies kann vorteilhaft durch eine sicherheitstechnischen Anforderungen genügende Armatur geregelt werden, die den Schnellschluss- und Stellvorgängen der Turbinenventile leittechnisch folgt. Bei Ausfall des Kühlmediums kann der Betrieb der Turbine erforderlichenfalls mit Hilfe der Turbinenventile unterbrochen werden, was als Schnellschluss bezeichnet wird. Die Temperatur des Kühlmediums ist gemäß sicherheitstechnischen Anforderungen vorteilhaft festzulegen und leittechnisch zu überwachen. Gegebenenfalls kann bei einer Schwachlast eine überproportionale Menge an Kühlmedium in das Arbeitsmedium eingebracht werden, so dass die Temperatur der Hauptströmung nach dem gekühlten Beschauungsbereich durch verstärkte Zumischung von Kühlmedium hinreichend niedrig gehalten wird.

Die oben erläuterte Konzeption der Zuführung des Kühlmediums und der Leitung des Kühlmediums in einem gehäuseintegrierten, vorteilhaft oberflächennahen Durchführungssystem kann entsprechend den Anforderungen ausgelegt und angepasst werden.

Das vorgeschlagene Konzept kann auch, gemäß einer Variante der Erfindung, zum Anfahren und/oder zur Schnellabkühlung einer Turbine verwendet werden.

Ebenfalls ermöglicht die vorliegende Erfindung den Einsatz von preiswerteren, weniger warmfesten Materialien für heutige Dampfparameter.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand einer Zeichnung näher
5 erläutert.

Die bevorzugte Ausführungsform der Erfindung wird dabei im Zusammenhang mit einem Kühlsystem beschrieben, das einen druckangepassten Kühltampfmassenstrom bereitstellt, der die statisch beanspruchten
10 Bauteile, also das Gehäuse und die Leitschaufeln, gezielt kühlen kann. Damit kann die hier vorgeschlagene, bevorzugte Ausführungsform einen wesentlichen Beitrag zur kostengünstigen, großtechnischen Realisierbarkeit höherer Dampfparameter und höherer Wirkungsgrade leisten. Darüber hinaus kann die hier beschriebene oder davon abweichende
15 und modifizierte Ausführungsform der Erfindung ebenfalls genutzt werden, um kostengünstigere Gehäuse- und Schaufelwerkstoffe bei derzeitigen Dampfparametern zu verwenden.

Die Figuren der Zeichnung zeigen im Einzelnen:

20

FIG 1 ein bekanntes Kühlkonzept bei einem Dampfturbinengehäuse, das auf die Kühlung im Einströmbereich des Arbeitsmediums und auf die Kühlung des ersten Leitschaufelkranzes beschränkt ist;

25

FIG 2 eine schematisierte Darstellung eines Kühlungskonzepts bei einem Dampfturbinengehäuse gemäß einer bevorzugten Ausführungsform;

30

FIG 3 eine Darstellung der Zuführung des Kühlmediums und der Leitung des Kühlmediums in einem gehäuseintegrierten, oberflächennahen Kanalsystem im Beschauelungsbereich bei der bevorzugten Ausführungsform;

35

FIG 4 eine Detaildarstellung entlang des Schnitts A-A bei dem Kanalsystem der FIG 3;

- FIG 5 eine Detaildarstellung entlang des Schnitts B-B bei dem Kanalsystem der FIG 3;
- FIG 6 eine Detaildarstellung entlang des Schnitts B-B bei einer abgewandelten Gestaltung des Kanalsystems der FIG 3;
- FIG 7 eine schematisierte Darstellung der Übertragungsmöglichkeiten des Kühlmediums in den Bereich der Leitschaufelbefestigung gemäß der bevorzugten Ausführungsform;
- FIG 8 eine Darstellung zur Gestaltung eines ersten und zweiten Abschirmblechs in einem Überlappungsbereich;
- FIG 9 eine Darstellung einer weiteren Gestaltungsmöglichkeit des Kanalsystems zur Leitung des Kühlmediums im Bereich der Leitbeschaufelung;
- FIG 10 eine Darstellung noch einer weiteren Gestaltungsmöglichkeit des Kanalsystems zur Leitung des Kühlmediums im Bereich der Leitbeschaufelung.

FIG 1 zeigt eine schematisierte Darstellung einer Dampfturbine 1, wie sie im Stand der Technik gemäß der US 6,102,654 beschrieben ist. Diese weist einen auf einer Achse 2 drehbar angeordneten Rotor 3 mit einer Anzahl von auch als Laufschaufeln bezeichneten Rotorscheaufeln 4 auf. Diese sind in einem stationären Gehäuse 5 mit einer Leitbeschaufelung 6 angeordnet. Der Rotor 3 wird über die Rotorscheaufeln 4 durch das im Einströmbereich 7 einströmende Arbeitsmedium 8 angetrieben. Zusätzlich zum Arbeitsmedium 8 strömt über einen separaten Eingangsbereich 9 ein Kühlmedium 10 dem Arbeitsmedium 8 zu. Dabei kühlt das Kühlmedium 10 durch Anströmen ausschließlich einen ersten Leitschaufelkranz 11 der stationären Leitbeschaufelung sowie ein Abschirmblech 12. Dadurch wird die Temperaturbelastung des Rotors 3 im Einströmbereich und des ersten Leitschaufelkranzes 11 verringert. Zudem wird über eine Sperrleitung 13 Kühlmedium 10 vom Eingangsbereich 9 über den ersten Leitschaufelkranz 11 hinweg auf einen Bereich 14 geleitet, der direkt zwischen dem Gehäuse 5 und der ersten Rotorscheaufel 15 liegt. Dadurch wird der Eingangsbereich 9

des Kühlmediums 10 gegen das Arbeitsmedium 8 abgedichtet, wobei das Kühlmedium 10 als Sperrfluid wirkt. Die Sperrleitung 13 wirkt dabei nicht als Kühlleitung.

- 5 FIG 2 zeigt hingegen eine schematische Darstellung einer Dampfturbine 20 gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung. Die Dampfturbine 20 weist einen Rotor 21 mit einer Anzahl von daran angeordneten Rotor- oder Laufschaufeln 22 auf, welcher drehbar in einem Gehäusemantel 23 mit einer Anzahl von Leitschaufeln 24 gelagert ist. Die
- 10 Dampfturbine 20 mit Rotor 21 und Gehäusemantel 23 erstreckt sich dabei entlang einer axialen Ausdehnung einer Achse 25. Die drehbaren Laufschaufeln 22 greifen dabei wie Finger in Zwischenräume zwischen die stationären Leitschaufeln 24.
- 15 Der hier dargestellte Gehäusemantel 23 könnte auch als ein Innengehäuse oder als ein Leitschaufelträger ausgebildet sein und/oder in der Art einer segmentierten Bauweise von einer Anzahl von Gehäusesegmenten gebildet sein. Die Wandung 26 des Dampfturbinengehäuses hat eine Außenseite 23a, welche in diesem Fall auch die Außenseite des
- 20 Gehäusemantels 23 ist. Das Dampfturbinengehäuse weist außerdem eine Innenseite 23b auf. Die Innenseite 23b grenzt an einen zur Aufnahme einer Hauptströmung 27 eines fluiden Arbeitsmediums vorgesehenen Innenraum 27a. Der Gehäusemantel 23 weist eine Anzahl von Stellen an der Innenseite 23b auf, bei denen jeweils eine Leitschaufel 24 gehalten ist. Dabei erstreckt
- 25 sich gemäß der besonders bevorzugten Ausführungsform ein Kanalsystem 28 zur Führung eines Kühlmediums, zwischen der Außenseite 23a und der Innenseite 23b angeordnet, von einem ersten Bereich 28a entlang der Stellen für die Leitschaufeln 24 bis zu einem zweiten Bereich 28b durchgängig.
- 30 Das somit als Kühlsystem vorgesehene Kanalsystem 28 umfasst eine Anzahl von in den Gehäusemantel 23 integrierten Kühlkanälen 29, die vergleichsweise nah an der Innenoberfläche des Gehäusemantels 23 verlaufen und im wesentlichen in Längsrichtung des Rotors 21 ausgerichtet sind.
- 35 Dabei weist das Kanalsystem 28 entlang der Achse 25 eine Anzahl von Überströmöffnungen 29a zur Hauptströmung 27 auf. Diese dienen in

Verbindung mit den Durchtrittsöffnungen des Kanalsystems 28 der stufenweise Druckreduzierung des Kühlmediums parallel zur Hauptströmung 27. Von Stufe zu Stufe der Leitschaufeln 24 kann das Kühlmedium dabei vorzugsweise durch Strömungswiderstände, die hier nicht
5 dargestellt sind, gedrosselt werden. Dazu eignet sich, beispielsweise jeweils bei einer Leitschaufelreihe, der Durchtritt des Kühlmediums durch eine Bohrung. Bei der Drosselung wird der Druck ohne Verrichtung technischer Arbeit reduziert. Das Kühlmedium besitzt bei ähnlichem Druck und niedrigerer Temperatur eine höhere Dichte als das Strömungsmedium,
10 womit sich ein besseres Wärmeübergangsverhalten ergibt. Die durch Drosselung und Temperaturerhöhung bewirkte Volumenerhöhung des Kühlmediums kann vorteilhaft dadurch kompensiert werden, dass nach und nach ein Teil des Kühlmediums an die Hauptströmung über die Überströmöffnungen 29a abgegeben wird. Dadurch wird auch eine gute Anpassung
15 des Kühlmediumdruckes an den Druck der Hauptströmung erreicht. Die hier beschriebene Ausführungsform stellt somit ein offenes Kühlsystem dar. Die Dimensionierung der Kühlkanäle 29 und der Überströmöffnungen 29a ist dabei insbesondere derart gewählt, dass im Betriebszustand das Kühlmedium lokal einen geringfügig, beispielsweise um 25 %, höheren Druck aufweist
20 als das Strömungsmedium.

Grundsätzlich könnte bei der bevorzugten Ausführungsform eines Dampfturbinengehäuses auch eine hier nicht dargestellte Variante als ein geschlossenes Kühlsystem vorgesehen werden. Dabei ergeben sich zwar
25 einige Nachteile, die aber je nach Bedarf, wenn erwünscht, in Kauf genommen werden können. Bei einem geschlossenen Kühlsystem wird eine Abgabe des Kühlmediums an die Hauptströmung 27 nur am Ende des gekühlten Bereichs realisiert. Dabei würden also die Überströmöffnungen 29a des offenen Systems der FIG 2 im Wesentlichen entfallen. Kühlmedium würde
30 lediglich von einem ersten Bereich 28a zu einem zweiten Bereich 28b geleitet, ohne dass dabei eine wesentliche Druckanpassung an die Hauptströmung erfolgen würde. Der stufenweise Druckabbau könnte ebenfalls durch eine Drosselung vorgenommen werden.

35 Eine Abgabe des Kühlmediums an die Hauptströmung findet dabei jedenfalls nicht pro Schaufelreihe statt. So kann bei einem geschlossenen Kühlsystem beispielsweise eine Abgabe des Kühlmediums an die Hauptströmung 27 gar

nicht, nur im zweiten Bereich 28b oder nur bei einer stark verringerten Anzahl von Stufen erfolgen. Der Druck im Kanalsystem 28 wird somit nur mittelbar an die Hauptströmung 27 angepasst. Nachteilig dabei ist, dass die für das Kühlmedium erforderlichen Querschnitte durch

- 5 Temperaturerhöhung und Druckabsenkung bei einem geschlossenen Kühlsystem im Verlauf des Kanalsystems 28 deutlich anwachsen.

Dies führt zu einer unerwünschten Reduzierung der tragenden Querschnitte von Schaufelfüßen und/oder dem Gehäuse, da eine Ausgestaltung des

10 Kanalsystems 28 als geschlossenes Kanalsystem 28 von einem ersten Bereich 28a zu einem zweiten Bereich 28b hin in seinem Querschnitt anwachsen müsste, um einer Erhöhung des Volumenstroms Rechnung zu tragen. Dies läuft zwar den Festigkeitsanforderungen im Gehäuse- und Schaufelbefestigungsbereich zuwider, könnte aber ausgeglichen werden. Sollte das

15 Kühlmedium nach Wahrnehmung der Kühlaufgabe nicht an das Arbeitsmedium abgegeben werden können, beispielsweise aufgrund zu unterschiedlicher Druck- und Temperaturparameter, so würde das Kühlmedium in einem Bereich 28b separat vom Arbeitsmedium aus dem Gehäusemantel 23 geführt werden. Bei der Kühlung mehrerer Stufen mit einem geschlossenen

20 System stellt sich, je nach abgedecktem Expansionsbereich, ein hoher Differenzdruck zwischen strömendem Medium in der Hauptströmung 27 und dem Kühlmedium im geschlossenen Kanalsystem 28 ein, wenn die Überströmöffnungen 29a der FIG 2 nicht vorhanden sind. Dies wäre je nach Wahl des Kühlmitteldrucks durch eine relativ schlechtere Kühlwirkung oder

25 bei hohem Kühlmitteldruck durch eine relativ höhere Differenzdruckbeanspruchung der Bauteile gekennzeichnet. Bei einer geringen Dichte des Kühlmediums weist dieses nämlich eine geringe Wärmekapazität auf und bewirkt damit einen schlechteren Wärmeübergang und -abtransport. Dennoch handelt es sich auch bei einem geschlossenen System um ein aktives Kühlsystem, das den Gehäusemantel 23 im Vergleich zu einer passiven Kühlung

30 oder im Vergleich zur nur begrenzten Kühlung im Einströmbereich eines Gehäuses erheblich besser kühlen kann.

Das offene Kanalsystem 28 weist zum einen eine durchgängige Durchführung

35 entlang der Achse 25 auf, von der mehrere Abzweigungen zu den Überströmöffnungen 29a hin abbiegen. Des Weiteren handelt es sich auch um ein zusammenhängendes Kanalsystem 28 in dem Sinne, dass möglichst

separate weitere Kanäle, die aus der Wandung herauslaufen könnten, vermieden sind. Dies hat den Vorteil, dass der Kühldampfmassenstrom und die erforderliche Temperaturdifferenz von Stufe zu Stufe abnehmen kann und dass der selbe Kühldampf über mehrere Stufen hinweg wirken kann. Im Vergleich zu den aus dem Stand der Technik der FIG 1 bekannten Einzelkanälen 16 bei einem Rotor oder bei einem Gehäuse, die separat geführt sind, bemisst sich der erforderliche Druck nämlich nach dem höchsten Druck der Hauptströmung. Bei den separaten Kanälen des Standes der Technik wäre ein Druck für die nachfolgenden Stufen nicht mehr angepasst. Dies führt zu einer zusätzlichen Beanspruchung der Turbine durch einen höheren Differenzdruck. Auch würde ein höherer Druck in separaten Kanälen für mehrere Schaufelreihen zu einer erheblichen Steigerung der mechanischen Anforderung, z. B. in einer Teilgugenverschraubung des Dampfturbinengehäuses führen. Auch müsste für separate Kanäle ein zusätzlicher Aufwand für die Bereitstellung unterschiedlicher Druckstufen und ihrer Einleitung in den Beschaukelungsbereich zur Verfügung gestellt werden, was nachteilig ist. Grundsätzlich könnte aber, wie im allgemeinen Teil der Beschreibung erläutert, im Rahmen einer Abwandlung ein Durchführungssystem flexibel ausgelegt und auch aus Teilsystemen aufgebaut sein.

In FIG 3 ist der Gehäusemantel 30 gemäß der bevorzugten Ausführungsform im gekühlten Beschaukelungsbereich näher dargestellt. Eine entsprechende Dampfturbine 31 weist weiterhin einen nicht dargestellten Rotor mit einer von einer Anzahl von Laufschaufeln 32 gebildeten Laufbeschaukelung auf. Der Gehäusemantel 30 sieht dabei eine erste Stelle 30a und eine zweite Stelle 30b entlang der Innenseite 33 vor, wobei entlang der axialen Ausdehnung 34 die zweite Stelle 30b hinter der ersten Stelle 30a angeordnet ist. Die Innenseite 33 grenzt dabei an einen Innenraum 35, der zur Aufnahme einer Hauptströmung 36 eines fluiden Arbeitsmediums vorgesehen ist. Allerdings ist in diesem Fall die Innenseite 33 nicht durch eine Wandung 37 des Gehäusemantels 30 gebildet, sondern durch ein stationäres Abschirmblech 38, das durch die Schaufelfüße 39 gehalten ist. Die Schaufelfüße 39a, 39b sind weiterhin in Schaufelnuten 40a, 40b in der Wandung 37 verankert. Eine Anzahl von Schaufeln 41a wird entlang des Umfangs des Gehäusemantels 30 nebeneinander und jeweils in radialer Orientierung 42 angeordnet und bildet so einen ersten, auch als Leit-

schaufelreihe bezeichneten Leitschaufelkranz an der Stelle 30a. Entsprechend ist eine Anzahl von zweiten Schaufeln 41b an einer zweiten Stelle 30b nebeneinander umfänglich in der Schaufelnut 40b angeordnet und bildet einen zweiten Leitschaufelkranz.

5

Eine ergänzende oder alternative Abwandlung zu dem in FIG 3 dargestellten Abschirmblech 38 könnte auch durch eine angearbeitete Abschirmfläche an den Schaufelfüßen 39a, 39b erfolgen. Zwar würde dadurch ein zusätzlicher Material- und Fertigungsaufwand erforderlich werden, jedoch könnte eine
10 ähnliche Abschirmwirkung wie mit einem Abschirmblech 38 erreicht werden und je nach Bedarf vorteilhaft sein.

Das Kanalsystem 43 der FIG 3 weist mindestens eine zwischen der Außenseite und der Innenseite 33 des Gehäusemantels 30 angeordnete und
15 wenigstens zwischen einem vor der ersten Stelle 30a angeordneten ersten Bereich und einem hinter der zweiten Stelle 30b angeordneten zweiten Bereich durchgängig sich erstreckende Durchführung 44 auf. Die Durchführung 44 erstreckt sich bei dieser Ausführungsform praktisch entlang des gesamten Beschauelungsbereichs im mit vergleichsweise hoher
20 Temperatur beaufschlagten Teil des Gehäuses. Die Durchführung 44 wird zum einen von der Wandung 37 des Gehäusemantels 30 und zum anderen von dem Abschirmblech 38 gebildet. Eine Vielzahl solcher Durchführungen 44 ist in axialer Ausdehnung 34 umfänglich entlang der Innenseite 33 des Gehäusemantels 30 angeordnet. Das Kanalsystem 43 weist außerdem eine Anzahl von
25 umfänglich umlaufenden Nuten 45 auf, die bei dieser Ausführungsform entlang der axialen Ausdehnung 34 jeweils auf Höhe einer Laufschaufel 32 angeordnet sind. Die Laufschaufel 32 weist eine Deckplatte 32a auf. Die Durchführungen des Kanalsystems 43 können durch Fräsungen auf der Wandung 37 des Gehäusemantels 30 aufgebracht werden und durch flächige
30 Bauelemente des Abschirmblechs 38 abgedeckt werden. Dabei bezieht das Kanalsystem 43 auch Schaufelnuten (FIG 9, FIG 10) und/oder Bohrungen 46a, 46b (FIG 5, FIG 6, FIG 9, FIG 10) in Schaufelfüßen 39a, 39b mit in den Strömungsverlauf ein.

35 Das Kanalsystem 43 weist außerdem Überströmöffnungen 47, 48 und 49 zur Anpassung der Parameter des Kühlmittelstroms an die Parameter des Arbeitsmediumstroms auf. Dies erfolgt in Zusammenarbeit mit den

Strömungswiderständen des Kanalsystems durch Abgabe eines Teils des Kühlmediumstroms an die Hauptströmung.

- Die Abschirmung durch ein Abschirmblech 38 im Beschaufelungsbereich kann durch eine Abschirmung auch des Einströmbereichs des Kühlmediums mittels eines weiteren Abschirmbleches erreicht werden, welches hier nicht dargestellt ist, und weitere Vorteile hinsichtlich der Oxidation des Turbinengehäusematerials mit sich bringt.
- Alternativ oder zusätzlich zu einem Abschirmblech 38 kann das Kanalsystem 43 oder eine Durchführung 44 auch in Form von Bohrungen oder auf andere geeignete Weise innerhalb einer Wandung 37 eines Gehäusemantels 30 oberflächennah angebracht sein.
- In FIG 4 ist die Ansicht des Schnitts A-A der FIG 3 gezeigt. Dabei ist die umlaufende Nut 45 der FIG 3 in gestrichelter Linie ausgeführt. Entsprechend ist die als axiale Nut ausgebildete Durchführung 44 als Einbuchtung in der Oberfläche einer Wandung 37 des Dampfturbinengehäuses schematisch angedeutet.
- FIG 5 zeigt eine Möglichkeit zur Anbringung einer Bohrung 46a in einem Schaufelfuß 39a. Eine Vielzahl entlang des Innengehäuses umfänglich nebeneinander angeordneter Schaufelfüße 39a, 39a' mit Bohrungen 46a, 46a' bildet eine Schaufelreihe an der Stelle 30a.
- Eine alternative Ausführung der Bohrungen 46a, 46a' der FIG 3 ist in FIG 6 als Bohrung 46a" gezeigt. Eine Bohrung 46a" ist in jeweils zwei benachbarten Schaufelfüßen 39a" angebracht.
- Im Gegensatz zu Gasturbinen weist bei Dampfturbinen das einer Teilturbine zuströmende Arbeitsmedium mit der höchsten Temperatur gleichzeitig den höchsten Druck auf. Um insbesondere ein offenes Kühlsystem für eine Dampfturbine zu verwirklichen, müssen also geeignete Maßnahmen zur Zuführung des Kühlmediums getroffen werden. Eine Zuführung des Kühlmediums kann nach Entnahme eines solchen Mediums aus dem Wasser-Dampf-Kreislauf an einer Stelle höheren Druckes und hinreichend niedriger Temperatur erfolgen. Geeignete Entnahmestellen sind insbesondere:

- vor Eintritt in die der Teilturbine vorgeschalteten Überhitzerteile des Kessels,
- vor Eintritt in den Kessel überhaupt,
- nach dem Austritt aus einer vorgeschalteten Teilturbine,
- 5 aus einer Anzapfung aus einer vorgeschalteten Teilturbine,
- durch separate Bereitstellung mittels einer geeigneten Pumpe, die das Kühlmedium an einer Stelle niedrigen Drucks aus der Vorwärmstrecke entnimmt und auf den erforderlichen Druck bringt. Bei einem
- Kühlungsausfall wäre bei Ausfall der Pumpe ein zusätzlicher Aufwand,
- 10 gegebenenfalls ein redundanter Aufbau erforderlich.

FIG 7 zeigt eine erste Möglichkeit und eine zweite Möglichkeit der Übertragung eines Kühlmediums 71 von einem Bereich 72 vor einer ersten Leitschaufelreihe 78 in einen weiteren Bereich 73 der

15 Leitschaufelbefestigung entlang der axialen Ausdehnung 74. Dargestellt ist ein Innengehäuse 75 gemäß der bevorzugten Ausführungsform, das in einem Außengehäuse 76 einer Dampfturbine 77 angebracht ist. Das Kühlmedium kann entweder über eine Zuführung 70a und die erste Leitschaufelreihe 78 in ein oberflächennahes Kanalsystem 79 im Innenge-

20 häuse 75 eingebracht werden und entlang der axialen Ausdehnung 74 im Bereich der Leitbeschaufelung 75a geführt werden. Alternativ oder zusätzlich kann Kühlmedium auch direkt im Innengehäuse 75 über eine Zuführung 70b in das Kanalsystem 79 eingebracht werden, ohne zuerst über eine erste Leitschaufelreihe 78 geführt zu werden.

25 Der weitere Strom des Kühlmediums 71 im Außengehäuse 76 wird durch eine Anzahl von Dichtungen 69, Drosseln und anderen geeigneten Maßnahmen geführt. Der Zustrom des Kühlmediums wird durch ein sicherheitstechnischen Anforderungen genügendes Ventil geregelt.

30 Zusätzlich zu den Einleitungsmöglichkeiten des Kühlmediums in FIG 7 könnte Kühlmedium auch im Bereich der Einströmung des Arbeitsmediums in das gehäuseintegrierte Kanalsystem 79 eingeleitet werden.

35 Bei Austritt des Kühlmediums am Ende des Kanalsystems 79 in die Hauptströmung ist das Kühlmedium nicht nur im Druck, sondern auch in der Temperatur der Hauptströmung weitgehend angepasst. Dies ist eine Folge

der Wärmeaufnahme des Kühlmediums im gekühlten Beschaufelungsbereich. Das Kühlmedium nimmt dann an der weiteren Expansion in der Hauptströmung Teil. Dies ist ein besonderer Vorteil eines offenen Kühlsystems, was somit einen Enthalpietransport vom gekühlten Beschaufelungsbereich in den nicht gekühlten Bereich bewirkt.

Die sicherheitstechnische Überwachung des Kühlmediums hat bei der hier gezeigten Ausführungsform vor allem die Temperatur des Kühlmediums zu regeln. Dabei ist zu beachten, dass eine vorzeitige Kondensation/Tröpfchenbildung in der Strömung und im Kanalsystem auch bei Teillasten ausgeschlossen ist. Des Weiteren sollte eine Überhitzung der wesentlichen Bauteile wie Gehäuse, Leitschaufeln bzw. Schaufelbefestigungen für alle relevanten Lastfälle ausgeschlossen sein. Nach technischem Erfordernis kann eine Vertrimmung zwischen Turbinen-Ventilen und Kühlmedium-Ventilen vorgesehen werden.

Das beschriebene Kanalsystem der bevorzugten Ausführungsform kann auch für Vorwärmzwecke vorteilhaft verwendet werden, indem geeignetes Medium beim Anfahrvorgang eingespeist wird. Dieses kann auch von anderen Stellen des Wasser-Dampf-Kreislaufs entnommen werden als das spätere eigentliche Kühlmedium. Vorteilhaft wirkt sich hierbei aus, dass das Vorwärmmedium im Kanalsystem gedrosselt wird und zumindest hier nicht zum Hochlauf eines Wellenstranges beiträgt. Analog kann dieses Verfahren auch zur Schnellabkühlung verwendet werden. Bei zukünftigen Innengehäusen oder Innengehäuswerkstoffen können die geschilderten Vorgehensweisen einen Vorteil hinsichtlich der Anfahrtszeiten und Abkühlzeiten bieten.

In FIG 8 ist eine günstige Anordnung eines ersten Abschirmblechs 80 und eines zweiten Abschirmblechs 81 im Bereich einer Stoßstelle 82 gezeigt. Die hier dargestellte Detailausführung kann vorteilhaft bei einer Abschirmblech 38 mit Überströmöffnungen 83 und 84 in FIG 8 oder 47, 48 und 49 in FIG 3 vorgenommen werden. Ein solches Abschirmblech ist vorteilhaft aus einem geeigneten, z. B. hochwarmfesten Werkstoff hergestellt. Es besteht bei dieser Ausführung aus Teilstücken, welche an ihren Stoßstellen 82 bevorzugt eine für unterschiedliche Temperaturen bewegliche Überdeckung 85, 86 aufweisen. In der in FIG 3 gezeigten Ausgestaltung liegt das Abschirmblech im Bereich der Laufschaufel-

Deckplatten und sollte entsprechende Dichtspitzen, d. h. berührungslose Dichtungen aufweisen. Hierzu könnten Dichtspitzen im Bereich der Stoßstelle 82 oder angrenzend zu den Schaufelfüßen angedreht, d. h. aus dem Vollen gefertigt werden, oder Dichtbänder eingestemmt werden. Das, 5 was sich als vorteilhaft erweist, kann je nach Festigkeits- und Fertigungsanforderungen des Materials und der Konstruktion im Einzelnen festgelegt werden.

Wenn das Kühlmedium über die Wellendichtung der Laufschaufeln an die 10 Hauptströmung abgegeben wird, kann unter Umständen der Wirkungsgradverlust durch den über diese Dichtungen strömenden Leckmassenstrom reduziert werden. Der Leckmassenstrom besteht in diesem Fall nicht aus heißem Medium der Hauptströmung, sondern aus Kühlmedium mit geringerer Enthalpie. Möglicherweise wird dieser Effekt jedoch durch 15 eine geringere Anzahl von Dichtspitzen aufgrund des Platzbedarfs zur Einleitung des Kühlmediums wieder aufgezehrt. Hier sind unterschiedliche Ausgestaltungen möglich, die sich je nach Art einer Anforderung als vorteilhaft erweisen.

20 FIG 9 zeigt eine weitere Gestaltung eines Kanalsystems zur Leitung des Kühlmediums im Bereich eines Schaufelfußes 90, der in einer Nut 91 in einem Turbinengehäuse 92 verankert ist. Die axiale Durchführung 93 der bevorzugten Ausführungsform ist im Bereich einer Rotorschaufel 94 tiefer in das Innere des Turbinengehäuses 92 eingelassen und weist so einen 25 beispielhaft dreieckförmigen Verlauf im Bereich der Rotorschaufel 94 auf. Jeder andere Verlauf ist möglich. Die Durchführung 93 ist über Kanäle 99 zur Hauptströmung offen. In den Bereich der Durchführung wird zusätzlich eine Schaufelnut 95 mit einbezogen. Zudem erfolgt die Durchführung durch einen Schaufelfuß 90 mittels eines Kanals 96, welcher oberhalb der 30 Taille 97 des Schaufelfußes näher zum Schaufelblatt 98 hin angeordnet ist. Dies hat den Vorteil, dass die Festigkeit der Taille 97 nicht beeinträchtigt wird.

In FIG 10 ist noch eine weitere Gestaltung ähnlich der in FIG 9 gezeigten 35 dargestellt. Im Unterschied zu FIG 9 erfolgt eine Durchführung 106 auch im Bereich eines Schaufelblattes 108. Im Bereich des Schaufelblattes 108 gehen von der Durchführung 106 Kanäle 110 ab, welche Kühlmedium von einer

Durchführung 106 auf das Schaufelblatt 108 leiten, um eine Filmkühlung bereit zu stellen.

Des Weiteren wird auch Kühlmedium über einen Kanal 109 im Bereich einer
5 Rotorschaukel 104 an die Hauptströmung des Arbeitsmediums abgegeben.
Weitere Details entsprechen den in FIG 9 dargestellten.

Zusammenfassend sind ein Dampfturbinengehäuse, eine Dampfturbine und ein
Verfahren zur aktiven Kühlung eines Dampfturbinengehäuses sowie eine
10 geeignete Verwendung der Kühlung vorgeschlagen worden.

Bei bisher bekannten Dampfturbinen 1 wird ein Gehäuse entweder nur passiv
oder nur in einem Einströmbereich des Arbeitsmediums in begrenztem Maße
aktiv gekühlt. Bei einer zunehmenden Beanspruchung des Gehäuses durch
15 erhöhte Dampfparameter des Arbeitsmediums ist eine ausreichende Kühlung
des Dampfturbinengehäuses nicht mehr gewährleistet. Der vorgeschlagene
Gehäusemantel 23, 30 bzw. das vorgeschlagene Innengehäuse 75 erstreckt
sich entlang einer Achse 25 bzw. entlang einer axialen Ausdehnung 34 und
weist auf: eine innere Wandung 26 entlang der Achse 25 bzw. der axialen
20 Ausdehnung 34, eine Außenseite 23a der inneren Wandung 26, eine
Innenseite 23b, 33, die an einen Innenraum 27a, 35 grenzt, der zur
Aufnahme einer Hauptströmung 27, 36 eines fluiden Arbeitsmediums 8
vorgesehen ist, eine erste Stelle 30a entlang der Innenseite 23b, 33, bei
der eine erste Schaufel 41a gehalten ist, eine zweite Stelle 30b entlang
25 der Innenseite 23b, 33, bei der eine zweite Schaufel 41b gehalten ist,
wobei entlang der Achse 25 bzw. der axialen Ausdehnung 34 die zweite
Stelle 30b hinter der ersten Stelle 30a angeordnet ist. Zur
Gewährleistung einer ausreichenden Kühlung ist dabei mindestens eine
Durchführung 44, 93, eine Bohrung 46a, 46b, ein Kanal 96 vorgesehen, die
30 sich, zwischen der Außenseite 23a und der Innenseite 23b, 33 angeordnet,
wenigstens zwischen einem vor der ersten Stelle 30a angeordneten ersten
Bereich 28a, 72 und einem hinter der zweiten Stelle 30b angeordneten
zweiten Bereich 28b, 73 durchgängig erstreckt. Es wird ein Verfahren und
eine Verwendung vorgeschlagen, bei dem ein fluides Kühlmedium 10
35 entsprechend geführt wird.

Patentansprüche

1. Dampfturbine (20) mit einem mit einer Anzahl von Laufschaufeln (22) versehenen Rotor (21), der gemeinsam mit einer Anzahl von Leitschaufeln (24) innerhalb eines aus einer Anzahl von Gehäusesegmenten gebildeten Gehäusemantels (23) angeordnet ist, wobei zumindest eines der Gehäusesegmente mit einer Anzahl von integrierten Kühlkanälen (29) versehen ist.
2. Dampfturbine (20) nach Anspruch 1, bei der der oder jeder Kühlkanal (29) innerhalb der Wand des jeweiligen Gehäusesegments relativ zu deren Mittelebene in Richtung zur Innenoberfläche hin versetzt positioniert ist.
3. Dampfturbine (20) nach Anspruch 1 oder 2, bei der der oder jeder Kühlkanal (29) im wesentlichen in Längsrichtung des Rotors (21) ausgerichtet ist.
4. Dampfturbine (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der die Lauf- und Leitschaufeln (22, 24) zu einer Anzahl von Schaufelreihen zusammengefasst sind, wobei sich der oder jeder Kühlkanal (29) in Längsrichtung des Rotors (21) gesehen zumindest über zwei, vorzugsweise über mehrere, aufeinanderfolgende Schaufelreihen hinweg erstreckt.
5. Dampfturbine (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der die Kühlkanäle (29) zu einem gemeinsamen, in den Gehäusemantel (23) integrierten Kühlsystem zusammengefasst sind.
6. Dampfturbine (20) nach Anspruch 5, deren Kühlsystem eine Anzahl von in Umfangsrichtung des jeweiligen Gehäusesegments ausgerichteten Zweigkanälen umfasst.
7. Dampfturbine (20) nach Anspruch 5 oder 6, an deren Gehäusemantel (23) eine Anzahl von Leitschaufeln (24) aufgehängt

ist, die jeweils über einen integrierten, mit dem Kühlsystem verbundenen Zweigkanal kühlbar sind.

8. Dampfturbine (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
5 bei der der oder jeder Kühlkanal (29) über eine Anzahl von Überströmöffnungen mit einem vom Gehäusemantel (23) umschlossenen Strömungsraum für ein Strömungsmedium verbunden ist.
9. Dampfturbine (20) nach Anspruch 8,
10 bei der der jeweilige Kühlkanal (29) und die Überströmöffnungen derart dimensioniert sind, dass im Betriebszustand das Kühlmittel einen geringfügig höheren Druck aufweist als das Strömungsmedium.
10. Dampfturbine (20) nach Anspruch 9,
15 bei der der oder jeder Kühlkanal (29) für jede Turbinenstufe zumindest eine Überströmöffnung aufweist.
11. Dampfturbine (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
bei der der oder jeder Kühlkanal (29) mit Dampf als Kühlmittel
20 beaufschlagbar ist.
12. Verfahren zum Betreiben einer Dampfturbine (20), insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
bei dem ein den Strömungsraum für das Strömungsmedium begrenzender
25 Gehäusemantel (23) zumindest teilweise über eine Anzahl von integrierten Kühlkanälen (29) mit Kühlmittel beaufschlagt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12,
bei dem das Kühlmittel in einem zusammenhängenden, von den Kühlkanälen
30 (29) gebildeten Kühlsystem geführt wird.
14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13,
bei dem das Kühlmittel, von den Kühlkanälen (29) aus, dem Strömungsmedium zugemischt wird.
35
15. Verfahren nach Anspruch 14,
bei dem das Kühlmittel mit einem Druck von mehr als dem an der jeweiligen

Zumischstelle im Strömungsmedium herrschenden Druck in dieses eingespeist wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15,
5 bei dem das Kühlmittel mit einem Druck geführt wird, der in Längsrichtung des Rotors (21) gesehen an den im Strömungsraum des Strömungsmediums lokal herrschenden Druck angepasst ist.

Zusammenfassung

Dampfturbine und Verfahren zum Betreiben einer Dampfturbine

- 5 Eine Dampfturbine (20) mit einem mit einer Anzahl von Laufschaufeln (22) versehenen Rotor (21), der gemeinsam mit einer Anzahl von Leitschaufeln (24) innerhalb eines aus einer Anzahl von Gehäusesegmenten gebildeten Gehäusemantels (30) angeordnet ist, soll für einen Betrieb mit vergleichsweise hohen Dampfparametern, also insbesondere mit besonders
- 10 hoher Dampftemperatur und mit besonders hohem Dampfdruck, geeignet ausgelegt sein. Dazu ist erfindungsgemäß eine aktive Kühlung des Gehäusemantels (30) vorgesehen, wobei zumindest eines der diesen bildenden Gehäusesegmente mit einer Anzahl von integrierten Kühlkanälen (29) versehen ist. Beim Betrieb der Dampfturbine (20) wird der
- 15 Gehäusemantel (30) somit aktiv durch Beaufschlagung der Kühlkanäle (29) mit einem Kühlmedium gekühlt.

FIG 2